

Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulumiskestävyyteen

Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset



Tielaitoksen
selvityksiä

34/1997

Helsinki 1997

Tiehallinto
Tie- ja liikenne-
tekniikka

Tielaitoksen selvityksiä
34/1997

Risto Alkio, Timo Kurki, Jarmo Vuorinen

Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulumiskestävyyteen

Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset

Tielaitos
Tiehallinto, liikenne- ja tiestötiedot

Helsinki 1997

ISSN0788-3722
ISBN951-726-366-X
TIEL 3200480
Oy Edita Ab
Helsinki 1998

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallintopalvelut,
painotuotemyynti
Telefaksi 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

ALKIO, Risto; KURKI, Timo; VUORINEN, Jarmo; Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulumiskestävyys - Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset. Helsinki 1997. Tielaite, tie- ja liikennetekniikka, Tielaituksen selvityksiä 34/1997, 28 s., + liitt. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-366-X, TIEL 3200480

Aiheluokka 33, 42, 56

Asiasanat kiviainekset, muotoarvo, päällysteet, kulumiskestävyys, koetiet

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin kahdella eri lujuuden omaavalla kiviaineksella raemuodon vaikutusta päällysteen kulumiskestävyysminikoetimenetelmällä. Tutkittavat kiviainekset väljettiin kolmeen eri muotoluokkaan, jotka olivat ns. normaali (välppäämätön), hyvä ja huono raemuoto. Kiviainesten eri muotoluokista määritettiin kuulamyly- ja muotoarvot sekä litteysluvut.

Kiviainekset suhteitettiin SMA 18-massan rakeisuuskäyrän mukaiseksi. Massoista tehtiin ICT-kiertotiivistyskokeet optimisideainepitoisuuksien määrittämiseksi. Kiviaineksen raemuodolla oli selvä vaikutus päällystemassan sideainetarpeeseen. Huonomuotoisten kiviainesten sideainetarve oli 0,7 - 0,9 %-yksikköä suurempi kuin saman kiven hyvämuotoisen kiviaineksen sideainetarve. Jokaisesta massasta tehtiin keinojyrrällä optimisideainepitoisuudessa päällystelaatat.

Minikoetie rakennettiin syksyllä 1995 Turun moottoritille (Vt 1) Espoon ja Helsingin rajalle. Tiehen jyrättiin ajosuunnassa kaksi 50 cm levyistä, 7 cm syvää ja 7 m pitkää uraa oikeanpuoleisen ajouran kohdalle. Päällystelaatat, joita oli yhteensä 14, asennettiin täytemassan kanssa jyrättäisiin.

Talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 aikana tapahtunut päällystelaattojen kulumisen mitattiin minikoetimenetelmään erityisesti suunnitellulla laserprofilometrillä. Kulumisarvojen perusteella molemmilla kiviaineksilla vähiten kuuluivat ne laatat, joissa kiviaineksen muoto on hyvä ja eniten ne laatat, joissa muoto on huono. Huonomuotoisen kiviaineksen kulumisen oli heikommalla kivellä noin 17 % ja lujemmalla kivellä noin 37 % suurempaa kuin saman kiven hyvämuotoisella kiviaineksella. Lujemmalla kivellä litteysluvun vaikutus kulumiseen näkyi selvästi vain verrattaessa keskenään huonomuotoista ja normaalimuotoista kiviainesta.

Molemmilla tutkituilla kivillä kuulamylyarvon (tuotetesti) kasvaessa myös päällystelaattojen kulumiset kasvoivat, joskin lujemmalla kivellä kulumisen muutoksen suuruus ei ollut tyydyttävästi ennustettavissa kuulamylytestillä.

Tulosten perusteella lujuudeltaan heikompien kiven normaalimurskauksessa syntyvien murskeiden muotoarvon parantamisella saavutetaan kulumiskestävyyskannalta etua. Sen sijaan lujuusominaisuuksiltaan hyvän kiviaineksen muodon parantamisella saavutetaan SMA 18-päällysteen kulumisen suhteen todennäköisesti hyvin vähän etua. On kuitenkin huomioitava, että johtopäätökset perustuvat vain kahden eri kiviaineksen tuloksiin.

Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulumiskestävyyteen - Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset. [The effect of aggregate shape on the wear resistance of asphalt pavement - A study with field test slabs. Wear results of winters 1995-1996 and 1996-1997.]

Key words aggregates, flakiness, asphalt pavements, wear resistance, test roads

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the effect of particle shape on the wear resistance of stone mastic asphalt (SMA) by using test slab method. This method was developed in Sweden and is used for the first time in Finland.

Two different kinds of mineral aggregates were sieved with bar sieves to produce 8 - 18 mm material of three particle shape: good, normal and poor. The Nordic abrasion values (studded tyre test) and flakiness values of these aggregates were measured.

The binder contents of different asphalt mixtures were determined based on the measurements of gyratory compactor. The binder contents of the first aggregate mixtures varied between 5,7 % (good shape) and 6,6 % (poor shape). Correspondingly, the binder contents of the second aggregate mixtures were 5,5 - 6,2 %. 14 test slabs (50 x 70 cm) of asphalt concrete were rolled in the laboratory.

Test slabs were placed in the road on main road 1 on the border of Espoo and Helsinki. Before placing test slabs two 50 cm wide and 7 cm deep grooves were milled in the right-hand wheel rut. Test slabs were placed on a special paste and rolled in the same level as the surrounding wearing course.

Wear measurements of test slabs were taken using VTT's special laser profilometer. According to the wear measurements of winters 1995 - 1996 and 1996 - 1997 test slabs of aggregate with good shape wore less than test slabs of normal aggregate. The difference between these wear values was clear with the less durable aggregate, but very small with more durable aggregate. On the other hand, test slabs of aggregate with poor shape wore 9 % (less durable aggregate) and 32 % (more durable aggregate) more than test slabs of normal aggregate.

The correlation between test slab wear and abrasion value was quite good. On the other hand, the prediction of wear resistance of more durable aggregate was weakened when aggregate shape was weakened.

ALKUSANAT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kahdella kiviaineksella raemuodon vaikutusta päällysteen kulumiskestävyyteen minikoetiemenetelmällä. Tutkimuksen tilaajana oli Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka. Tutkimusta valvoi tielaitoksen edustajana tieinsinööri *Mats Reihe*. Tutkimuksen vastuuhenkilönä oli erikoistutkija *Risto Alkio* ja raportin laatijana tutkija *Jarmo Vuorinen* Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen yhdyskuntatekniikan tutkimusyksiköstä. Minikoetien mittauksista ja mittaustulosten käsittelystä on vastannut VTT:n tutkija *Timo Kurki*.

Helsingissä joulukuussa 1997

Tielaitos

Tie- ja liikennetekniikka

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 TUTKITTAVAT KIVIAINEKSET	10
3 LABORATORIOKOKKEET	11
3.1 Kuulamyly- ja muotoarvomääritykset	11
3.2 Massojen suhteitukset	13
3.3 Päälystelaattojen valmistus	15
4 MINIKOETIEN RAKENTAMINEN	16
5 MINIKOETIEN MITTAUKSET	17
6 TULOSTEN TARKASTELU	20
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	27

1 JOHDANTO

Päälysteiden kulumistutkimuksia on perinteisesti tehty rakentamalla koeteitä, joissa on monia useiden satojen metrien mittaisia koeosuuksia. Koeteiden suurimpana ongelmana on ollut tutkittavan parametrin sekoittuminen muihin, vaikeasti kontrolloitaviin muuttujiin. Esimerkiksi kiviainekoeteillä kiviainesominaisuuksien vaikutus päälysteen kulumiseen on voinut vääristyä päälysteen osuuksittain vaihtuvien muiden ominaisuuksien vuoksi. Täysimittaiset koetiet tarvitsevat lisäksi suuria määriä kiviaineksiä, joiden valmistaminen ja käsittely vaativat suuria kustannuksia ja erityistoimenpiteitä.

Minikoetimenetelmällä voidaan tutkia kontrolloidusti ja koeteiden rakentamiseen nähden hyvin halvalla päälysteen kulumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Varsinkin erityismateriaalien vaikutuksen selvittäminen on huomattavasti helpommin hallittavissa laboratoriossa tehdyillä koelaatoilla kuin normaalimittakaavaisilla koeteillä.

Minikoetimenetelmässä tien reunauran kohdalle jyrskytyihin kaukaloihin asetetaan laboratoriossa valmistettuja päälystelaitteita, joiden kulumista mitataan laser-profilometrillä. Rakennuskustannusten lisäksi minikoetien selvänä etuna koeteihin nähden on se, että päälystelaitteiden koostumus eli kiviaineksen rakeisuus ja muoto-ominaisuudet sekä päälysteen sideainepitoisuus ovat hallinnassa ja tarkasti tiedossa. Koeosuuksien lyhyiden vuoksi tien geometrian ja liikenneolosuhteiden muutokset eivät myöskään pääse vaikuttamaan koetuloksiin. Tämä mahdollistaa vertailukelpoiset tulokset myös lyhyillä kaupunkiosuuksilla.

Kyseinen minikoetietutkimus on ensimmäinen koesarja Suomessa. Vuonna 1996 minikoeteitä on rakennettu VTT:n toimesta Tielaitoksen Vaasan piiriin ja Mannerheimintielle Helsinkiin /1/. Kaikissa näissä minikoeteissa on tutkittu päälystekiviaineksen kulumiskestävyyttä. Ruotsissa minikoetimenetelmää on käytetty menestyksellisesti jo useiden vuosien ajan päälystetutkimuksissa. Tutkimuksen kohteena ovat olleet mm. kiviaineksen laatu ja maksimiraekoko sekä päälystetyypit ja sideaineen laatu.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kahdella kiviaineksella raemuodon vaikutusta päälysteen kulumiskestävyyteen minikoetimenetelmällä. Tarkoituksena oli myös saada kokemuksia minikoetien rakentamisesta ja siihen liittyvistä mahdollisista ongelmista. Minikoetien ensimmäisen talven tulokset on julkaistu Tielaitoksen selvityksessä 57/1996 /2/.

2 TUTKITTAVAT KIVIAINEKSET

Tutkittavana oli kaksi kalliomursketta, jotka olivat Teiskon granodioriitti ja Varpaisjärven diabaasi. Molemmat kiviainekset edustivat jälkimurskaimen tuotetta. VTT hankki kiviainekset ja ne seulottiin lajitteisiin 8 - 12, 12 - 16 ja 16 - 18 mm (vertailukiviaineksella 16 - 20 mm), joista välpättiin tutkimukseen tarvittavat kiviaineserät.

Jokaisen lajitteen kiviainekset jaettiin kolmeen eri muotoluokkaan. Perusmateriaalina oli normaalimuotoinen kiviaines, jolla tarkoitetaan murskauksessa syntynyttä, kokeissa sellaisenaan käytettyä kiviainesta. Kaksi muuta muotoluokkaa olivat ns. hyvän ja huonon muotoarvon omaavat kiviainekset. Nämä saatiin välppäämällä perusmateriaalia. Lajite 8 - 12 mm välpättiin 8 mm:n välppäseulalla, 12 - 16 mm:n lajite 11,2 mm:n välpällä ja 16 - 18 mm:n lajite 12,5 mm:n välpällä. Välppien päälle jääneet ainekset yhdistettiin hyvämuotoiseksi kiviainekseksi ja välppien läpäisseet ainekset huonomuotoiseksi kiviainekseksi.

Teiskon vertailukiviaineksena käytettiin vain hyvämuotoista kiviainesta, jonka karkeimpana lajitteena oli 16 - 20 mm. Hyvämuotoisen kiviaineksen valinta referenssikiviainekseksi perustui siihen, että mahdollisesti jatkossa tehtävissä minikoeteissa säilytetään hyvä vertailtavuus eliminoimalla kiviaineksen muotoarvon vaikutus.

3 LABORATORIOKOKKEET

3.1 Kuulamyly- ja muotoarvomääritykset

Kiviaineksista määritettiin kuulamyly- ja muotoarvot. Kuulamylykokeet tehtiin jokaisesta kolmesta muotoluokasta tuotetestinä PANK-menetelmällä 2208. Lisäksi välppäämättömästä perusmateriaalista tehtiin kuulamylykoe raaka-ainetestinä PANK-menetelmällä 2207. Litteyslukumääritykset tehtiin välppäämällä menetelmän PANK 2203 (SFS-EN 933-3) mukaisesti, minkä lisäksi liuskeisuus ja puikkoisuus määritettiin työntötulkimittauksin menetelmän TIE 233 mukaisesti lajitteesta 12 - 16 mm. Kiviaineksen maksimiraekoko oli 18 mm, joten lajitteen 12,5 - 20 mm PANK-litteysluvut on määritetty lajitteesta 12,5 - 18 mm.

Kuulamyly- ja muotoarvomääritysten tulokset esitetään taulukossa 1. Teiskon kiviaineksen kuulamylyarvot vaihtelivat hyvämuotoisen 9,5 %:sta huonomuotoisen 13,7 %:iin. Raaka-ainetestin tulos 10,6 % edusti Asfalttinormien 1995 mukaista lujuusluokkaa III.

Litteysluvut (ent. liuskeisuusarvot) olivat 8 - 12,5 mm lajitteella välillä 0,0 - 17,0 % ja 12,5 - 18 mm lajitteella 0,0 - 19,6 %. Huonomuotoinen kiviaines edusti siis Asfalttinormien muotoluokkaa III. Normaali- ja hyvämuotoinen kiviaines kuuluivat puolestaan muotoluokkaan I. Lajitteen 12 - 16 mm työntötulilla määritetyt litteysluvut vaihtelivat muotoluokittain välillä 1,23 - 1,77 ja puikkoisuusarvot välillä 1,68 - 2,33.

Varpaisjärven kiviaineksella raemuodon vaikutus kuulamylyarvoihin oli selvästi vähäisempi kuin Teiskon kiviaineksella eli 6,3 %:sta 7,5 %:iin. Raaka-ainetestin tulos 6,7 % edusti Asfalttinormien 1995 mukaista lujuusluokkaa I.

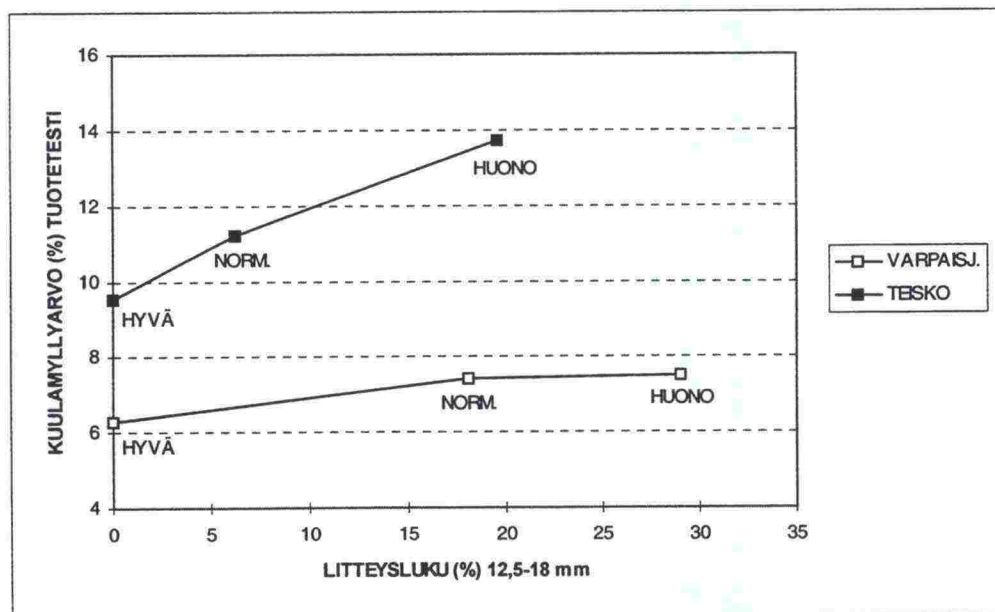
Litteysluvut vaihtelivat muotoluokittain välillä 0,0 - 25,4 % (8 - 12,5 mm) ja 0,0 - 29,0 % (12,5 - 18 mm). Asfalttinormien 1995 mukaan huonomuotoisin kiviaines oli muotoluokkaa III. Erityisen huomioitavaa oli karkeimman lajitteen 16 - 18 mm huono raemuoto. Erikseen tälle lajitteelle laskettu litteysluku oli 42,0 %. Huonoon arvoon tosin vaikutti osaltaan se, että lajitteen maksimiraekoko oli 18 mm ja välppäaukon leveys menetelmän mukaisesti 10 mm. Myös normaalimuotoinen kiviaines edusti Teiskon kiviaineksesta selvästi poiketen muotoluokkaa III. Hyvämuotoisen kiviaineksen muotoluokka oli I. Lajitteen 12 - 16 mm työntötulilla määritetyt litteysluvut vaihtelivat muotoluokittain välillä 1,27 - 1,83 ja puikkoisuusarvot välillä 1,73 - 2,61.

Molempien kivien jokaisesta muotoluokasta on tehty vain yksi kuulamylymääritys lukuun ottamatta Varpaisjärven kiven normaali- ja huonomuotoisia kiviaineksia, joista tehtiin lukuarvojen samankaltaisuuden vuoksi kaksi rinnakkaismääritystä. Viimeksi mainituilla kiviaineksilla taulukon 1 kuulamylyarvot ovat kahden määrittelyn keskiarvoja.

Kuvassa 1 esitetään molempien kiviainesten tuotetestinä tehtyjen kuulamylyarvojen riippuvuus lajitteen 12,5 - 18 mm litteysluvusta. Liitteessä 1 on esitetty kuvina kuulamylyarvojen riippuvuus lajitteen 12 - 16 mm muotoarvoista b/a (liuskeisuus) ja c/a (puikkoisuus).

Taulukko 1. Tutkittavien kiviainesten kuulamyly- ja muotoarvot.

Kivi	Muoto	Kuulamylyarvo %		Litteysluku %		Muotoarvo 12 - 16 mm	
		Tuote- testi	Raaka- aine	8-12,5 mm	12,5- 18 mm	Liusk. b/a	Puik. c/a
TEISKO	hyvä	9,5	-	0,0	0,0	1,23	1,68
	norm.	11,2	10,6	9,5	6,2	1,55	2,05
	huono	13,7	-	17,0	19,6	1,77	2,33
VARP. JÄRVI	hyvä	6,3	-	0,0	0,0	1,27	1,73
	norm.	7,4	6,7	19,7	18,1	1,64	2,34
	huono	7,5	-	25,4	29,0	1,83	2,61



Kuva 1. Teiskon ja Varpaisjärven kiviainesten kuulamylyarvot litteysluvun (12,5 - 18 mm) funktiona.

Kuulamyly- ja muotoarvojen lisäksi kiviaineksista on määritetty niiden kiintotiheys vedessä punnitsemalla PANK-menetelmällä 2107. Teiskon kiven kiintotiheys oli $2,68 \text{ g/cm}^3$ ja Varpaisjärven kiven kiintotiheys $3,05 \text{ g/cm}^3$.

3.2 Massojen suhteitukset

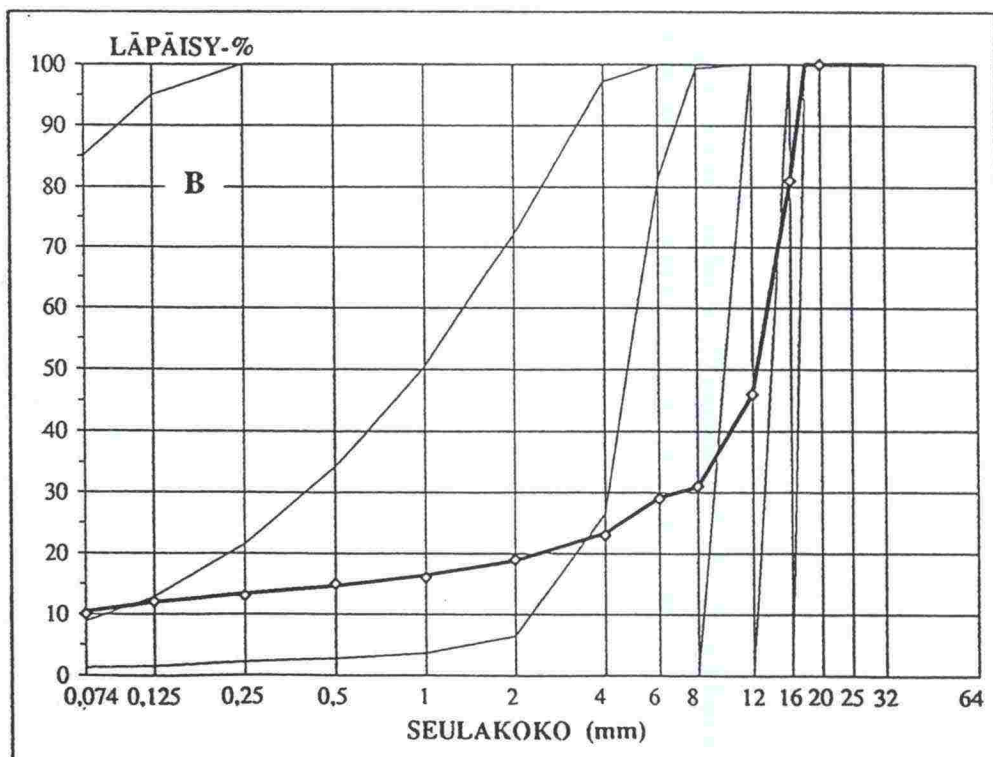
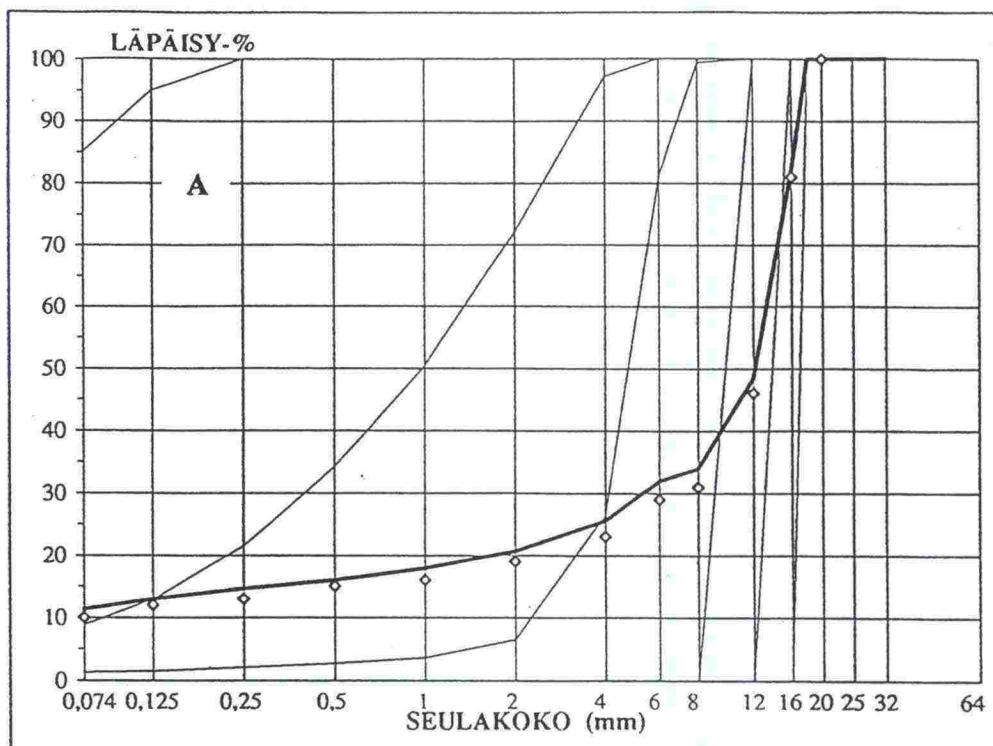
Kokeessa käytetty massatyyppi oli SMA 18, jonka yli 8 mm:n kiviaineksena oli tutkittava kiviaines. Suhteituksen karkearakeiset lajitteet olivat 8 - 12, 12 - 16 ja 16 - 18 mm. Teiskon ja Varpaisjärven 8 - 18 mm kiviainesten lisäksi runkoaineksena käytettiin vertailumassassa Teiskon 8 - 20 mm hyvämuotoista kiviainesta. Kaikissa massoissa alle 8 mm:n materiaalina oli Teiskon kiviaines (0 - 3 ja 0 - 6 mm), minkä lisäksi massoissa käytettiin kalkkikivijauhetta. Täytejauhepitoisuudet olivat Teiskon kiviaineksella 12 % ja Varpaisjärven kiviaineksella 11 %.

Kuvassa 2 on esitetty molemmista tutkittavista kiviaineksista suhteitetut rakeisuuskäyrät ja käytetyt lajitteet. Käyrät poikkeavat vähäisessä määrin toisistaan, koska kiviaineksen tilavuussuhteet on pyritty saamaan yhteneväisiksi. Käyräpohjassa esiintyvät \diamond -merkit kuvaavat vertailtavuuden vuoksi ns. tavoitekäyriä.

Massojen sideainepitoisuuksien määrittämiseksi SMA 18-massoista tehtiin ICT-kiertotiivistyskokeet. Kokeessa sylinterissä olevaa massaa tiivistetään pyörivässä liikkeessä olevan männän avulla. Kokeen tuloksena saadaan koekappaleen tilavuussuhteet ja tiivistämiseen tarvittava voima eli leikkausjännitys kN/m^2 .

Massojen sideaineena käytettiin bitumia B70/100 ja lisäaineena 0,4 % Arbocel-selluloosakuitua. Massat tehtiin kappaleessa 2 mainituilla karkearakeisen kiviaineksen eri muotoluokilla: hyvä, normaali ja huono raemuoto. Jokaisella massalla tiivistyskoe tehtiin kolmella eri sideainepitoisuudella. Lähtösideainepitoisuudet valittiin aikaisempien kokeiden ja suhteitusten perusteella. Tiivistetyistä näytteistä määritettiin massan tiheys (PANK-4108), päällysteen tiheys (PANK-4110), tyhjätila, kiviaineksen tyhjätila ja sideaineen täyttöaste (PANK-4114). Määritykset tehtiin kolmella rinnakkaisnäytteellä / massa.

Sideaineen täyttöastetavoitteena oli noin 80 %, johon arvoon päästiin lukuun ottamatta Varpaisjärven huonomuotoista kiviainesta. Tulosten perusteella massojen optimisideainepitoisuuksiksi valittiin taulukossa 2 esitetyt arvot. Sideainetarve vaihteli kiviaineksen muotoarvosta riippuen Teiskon kivellä välillä 5,7 - 6,6 % ja Varpaisjärven kivellä välillä 5,5 - 6,2 %. Tilavuusprosentteina ilmaistuna sideainemäärät olivat vastaavasti 13,7 - 15,9 % ja 14,4 - 16,0 %. Taulukossa 2 esitetään lisäksi kunkin massan optimisideainepitoisuutta vastaavat tyhjätilat, kiviaineksen tyhjätilat ja täyttöasteet. Aiemmassa raportissa /2/ esitettiin kuvina eri massoilla eri sideainepitoisuuksilla saadut tyhjätilat, kiviaineksen tyhjätilat ja täyttöasteet.



Kuva 2. Kokeessa käytetyt Teiskon (A) ja Varpaisjärven (B) kiviainesten lajitteet ja näistä suhteitetut massakäyrät (\diamond = suhteituksen tavoitekäyrä).

Taulukko 2. Tutkittujen massojen optimisideainepitoisuudet (SA) ja niitä vastaavat tyhjätilat (TYTI), kiviaineksen tyhjätilat (KAT) ja täyttöasteet (TA).

Kiviaines	Muoto	SA %	TYTI %	KAT %	TA %
TEISKO	Hyvä	5,7	3,1	16,4	81
	Normaali	6,1	3,3	17,5	81
	Huono	6,6	3,8	18,8	80
VARPAISJ.	Hyvä	5,5	3,4	17,3	81
	Normaali	5,9	3,8	18,5	79
	Huono	6,2	4,7	19,9	77

Tilavuussuhteituksen perusteella voidaan todeta, että huonon muotoarvon omaavat kiviainekset ovat vaikeammin tiivistettäviä kuin vastaavan sideainepitoisuuden omaavat normaali- ja hyvämuotoiset kiviainekset. ICT-kokeen yksittäiset tulokset (tiheys ja leikkausvoima tiivistyskierrosten suhteen) on esitetty vuoden 1996 raportissa /2/.

3.3 Päälystelaattojen valmistus

Minikoetielelle asetetut päälystelaatat (50 x 70 x 6 cm) valmistettiin sekoittamalla massat laboratoriosekoittimessa, minkä jälkeen ne tiivistettiin keinuujärjellä muotteihin. Tiivistyksessä käytetty massan lämpötila oli 155 °C. Eri massojen koostumukset olivat rakeisuudeltaan ja sideainepitoisuudeltaan kappaleessa 3.2 esitettyjen koostumusten mukaisia.

4 MINIKOETIEN RAKENTAMINEN

Minikoetie rakennettiin 21.9.1995 Turun moottoritielle (Vt 1) Kehä I:ltä Helsingin suuntaan vievälle oikeanpuoleiselle ajokaistalle aivan Espoon ja Helsingin rajalle. Tieosuuden keskivuorokausiliikenne (KVL) on noin 27 500.

Tiehen jyrstiin ajosuunnassa kaksi 50 cm levyistä, 7 cm syvää ja 7 m pitkää uraa oikeanpuoleisen ajouran kohdalle. Jyrstityt alueet sijaitsevat noin 20 m päässä toisistaan. Jyrsinässä loivaksi jääneet urien päädyt sahattiin ja piikattiin jyrkkäreunaisiksi. Lopuksi urien pohjat puhdistettiin harjaamalla ja imuroimalla.

Jyrsintäurien pohjalle levitettiin täytemassaa, jonka tarkoituksena oli saada laatat oikeaan tasoon ja samalla toimia liimana. Täytemassan tasauksen jälkeen laboratoriossa valmistettu päällystelaatta (50 x 70 x 6 cm) asetettiin jyrsintäuraan siten, että sen tasaisempi ja homogeenisempi alapinta tuli ylöspäin. Kahden tai kolmen laatan asennuksen jälkeen niiden päälle laitettiin tukeva vanerilevy, jonka päältä ajettiin jyrällä, kunnes laatat saatiin tienpinnan tasoon. Laattojen asennuksen jälkeen niiden saumat täytettiin bitumilla.

Päällystelaatat asetettiin minikoetiele siten, että kaikista tutkituista SMA 18-massoista ja vertailumassasta oli kaksi laattaa eli laattojen yhteismäärä oli 14. Ajosuunnan mukaan laatat, jotka sijaitsevat saman ajokaistan peräkkäisissä jyrsintäurissa (osuudet 1 ja 2), on asetettu seuraavasti (VARP. = Varpaisjärven kiviaines).

Osuus 1, ajosuunta --->

VARP. HYVÄ	VARP. NORM.	VARP. HUONO	TEISKO REFER.	TEISKO HYVÄ	TEISKO NORM.	TEISKO HUONO
---------------	----------------	----------------	------------------	----------------	-----------------	-----------------

Osuus 2, ajosuunta --->

TEISKO HUONO	TEISKO NORM.	TEISKO HYVÄ	TEISKO REFER.	VARP. HUONO	VARP. NORM.	VARP. HYVÄ
-----------------	-----------------	----------------	------------------	----------------	----------------	---------------

5 MINIKOETIEN MITTAUKSET

Minikoetien mittaukset tehtiin tarkoitukseen erityisesti suunnitellulla laser-profilometrillä, jonka mittaussväli oli 2 mm. Mittausten kiintopisteinä käytettiin laattojen molemmille sivuille asennettuja pultteja, joiden yläpinta oli 0,5 - 1 cm tienpintaa alempana. Mittausten avulla määritettiin päällystelaattojen kulumisen poikkiprofiilien muutoksena. Jokaisen päällystelaatan kulumisen mitattiin viidestä eri profiilista.

Ensimmäiset mittaukset tehtiin 11.12.1995 ja toiset mittaukset nastarengaskauden päätyttyä 8.5.1996. Ensimmäiset mittaukset tehtiin joulukuussa jotta liikenne ehtisi kuluttaa päällystelaattojen ylimääräisen mastiksin pois. Seuraavat mittaukset tehtiin 31.10.1996 ja 22.5.1997. Kevään 1997 mittaukset tehtiin pidentyneen nastarengaskauden vuoksi noin kaksi viikkoa myöhemmin kuin keväällä 1996.

Talven 1995 - 1996 SMA 18-päällysteen kulumista kuvaavat profiilikohtaiset arvot sekä niistä lasketut laattakohtaiset keskiarvot ja keskihajonnat esitetään taulukossa 3. Kulumat on laskettu keskeltä laattaa 40 cm:n matkalta keskimääräisinä kulumisarvoina (mm).

Talven 1996 - 1997 vastaavat arvot esitetään taulukossa 4.

Taulukossa 5 on esitetty talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteenlasketut kulumisarvot.

Taulukko 3. Minikoetien päällystelaattojen talven 1995 - 1996 aikana tapahtunut kulumisen viiden profiiliin (1 - 5) yksittäisarvoina ja keskiarvona (KA) / laatta. KH = keskihajonta.

KIVI	MUOTO	KULUMINEN (mm) PROFIILEITTAIN						
		KA	KH	1	2	3	4	5
Varpaisj.	Hyvä	1,94	0,26	1,7	2,1	2,1	1,6	2,2
Varpaisj.	Norm.	2,08	0,27	2,0	2,4	1,8	1,9	2,3
Varpaisj.	Huono	2,77	0,30	2,2	3,0	2,9	2,9	2,9
Teisko / referenssi		2,73	0,29	2,3	2,7	2,6	3,1	2,9
Teisko	Hyvä	2,95	0,23	3,1	2,9	2,7	2,8	3,3
Teisko	Norm.	2,95	0,42	2,3	3,4	3,1	3,1	2,7
Teisko	Huono	3,36	0,40	2,7	3,7	3,6	3,6	3,2
Varpaisj.	Hyvä	2,06	0,18	1,9	2,3	2,1	2,0	1,9
Varpaisj.	Norm.	2,01	0,14	2,0	1,8	2,0	2,1	2,2
Varpaisj.	Huono	2,37	0,62	3,2	2,6	2,2	1,6	2,1
Teisko / referenssi		3,20	0,27	2,8	3,5	3,2	3,4	3,1
Teisko	Hyvä	2,55	0,32	2,1	2,9	2,6	2,8	2,4
Teisko	Norm.	3,07	0,46	2,3	3,4	3,0	3,5	3,2
Teisko	Huono	3,79	0,55	3,9	4,7	3,7	3,3	3,4

Taulukoihin on otettu mukaan myös referenssilautojen kulumisarvot. Vertailukiviaineksena käytettiin Teiskon kiven hyvämuotoista kiviainesta, jonka karkeimpana lajitteena oli muista kiviaineksista poiketen 16 - 20 mm. Hyvä-

muotoisen kiviaineksen valinta referenssikiviainekseksi perustui siihen, että mahdollisesti jatkossa tehtävissä minikoeteissa säilytetään hyvä vertailtavuus eliminoimalla kiviaineksen muotoarvon vaikutus.

Taulukko 4. Minikoetien päällystelaattojen talven 1996 - 1997 aikana tapahtunut kulumisen viiden profiilin (1 - 5) yksittäisarvoina ja keskiarvona (KA) / laatta. KH = keskihajonta.

KIVI	MUOTO	KULUMINEN (mm) PROFIILEITTAIN						
		KA	KH	1	2	3	4	5
Varpaisj.	Hyvä	3,26	0,23	3,3	3,0	3,0	3,4	3,5
Varpaisj.	Norm.	3,75	0,18	3,5	4,0	3,9	3,6	3,8
Varpaisj.	Huono	4,88	0,57	5,5	4,3	5,5	4,5	4,6
Teisko / referenssi		5,20	0,36	5,0	5,0	5,3	5,0	5,8
Teisko	Hyvä	5,75	0,57	5,4	6,2	6,5	5,3	5,3
Teisko	Norm.	5,84	0,60	6,3	5,2	6,6	5,3	5,7
Teisko	Huono	6,33	0,91	7,0	5,3	7,5	6,0	5,8
Varpaisj.	Hyvä	3,72	0,89	4,8	3,0	4,6	3,1	3,0
Varpaisj.	Norm.	3,59	0,26	3,2	3,4	3,8	3,7	3,9
Varpaisj.	Huono	5,03	0,72	5,0	6,2	5,0	4,4	4,5
Teisko / referenssi		6,09	0,68	6,3	5,4	7,1	5,7	6,0
Teisko	Hyvä	5,56	0,70	4,8	5,8	6,6	5,1	5,5
Teisko	Norm.	6,22	0,60	6,0	5,4	7,0	6,5	6,2
Teisko	Huono	6,22	0,67	6,9	5,5	6,9	5,7	6,1

Taulukko 5. Minikoetien päällystelaattojen talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 aikana tapahtunut yhteenlaskettu kulumisen viiden profiilin (1 - 5) yksittäisarvoina ja keskiarvona (KA) / laatta. KH = keskihajonta.

KIVI	MUOTO	KULUMINEN (mm) PROFIILEITTAIN						
		KA	KH	1	2	3	4	5
Varpaisj.	Hyvä	5,2	0,30	5,0	5,1	5,1	5,0	5,7
Varpaisj.	Norm.	5,8	0,40	5,5	6,4	5,6	5,5	6,1
Varpaisj.	Huono	7,7	0,46	7,7	7,3	8,4	7,3	7,5
Teisko / referenssi		7,9	0,49	7,3	7,7	7,9	8,1	8,6
Teisko	Hyvä	8,7	0,45	8,5	9,1	9,2	8,1	8,6
Teisko	Norm.	8,8	0,52	8,7	8,6	9,7	8,5	8,5
Teisko	Huono	9,7	0,88	9,8	9,0	11,1	9,6	9,0
Varpaisj.	Hyvä	5,8	0,87	6,7	5,4	6,7	5,2	4,9
Varpaisj.	Norm.	5,6	0,36	5,2	5,2	5,8	5,7	6,0
Varpaisj.	Huono	7,4	1,17	8,3	8,9	7,2	6,0	6,6
Teisko / referenssi		9,3	0,62	9,0	8,9	10,4	9,0	9,1
Teisko	Hyvä	8,1	0,88	6,9	8,7	9,2	7,9	8,0
Teisko	Norm.	9,3	0,77	8,3	8,8	10,0	10,0	9,4
Teisko	Huono	10,0	0,79	10,8	10,2	10,6	9,0	9,5

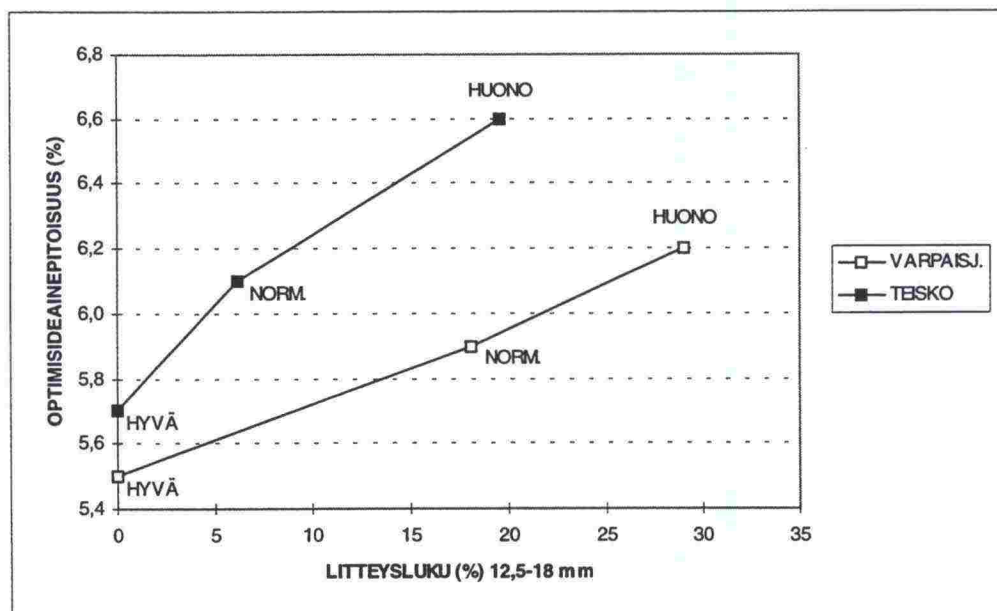
Taulukossa 6 esitetään minikoetien päällystelaattojen kulumistulokset massa-kohtaisesti kahden rinnakkaislaatan keskiarvoina. Kesän 1996 arvot ovat summa päällysteen kulumisesta, deformatumisesta ja tiivistymisestä.

Taulukko 6. Minikoetien päällystelaattojen talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 sekä kesän 1996 aikana tapahtunut massakohtainen kuluminen. Viimeisissä sarakkeissa on kahden talven yhteenlaskettu kuluminen ja koko mittausajanjaksona aikana tapahtunut kuluminen.

KIVI	MUOTO	TALVI 95-96	KESÄ 96	TALVI 96-97	TALVET YHT.	YHT. 95-97
Varpaisj.	Hyvä	2,00	0,21	3,49	5,49	5,70
Varpaisj.	Norm.	2,05	0,09	3,67	5,72	5,81
Varpaisj.	Huono	2,57	0,21	4,96	7,53	7,73
Teisko / referenssi		2,96	0,14	5,65	8,61	8,75
Teisko	Hyvä	2,75	0,08	5,66	8,41	8,48
Teisko	Norm.	3,01	0,15	6,03	9,04	9,19
Teisko	Huono	3,58	0,18	6,27	9,85	10,03

6 TULOSTEN TARKASTELU

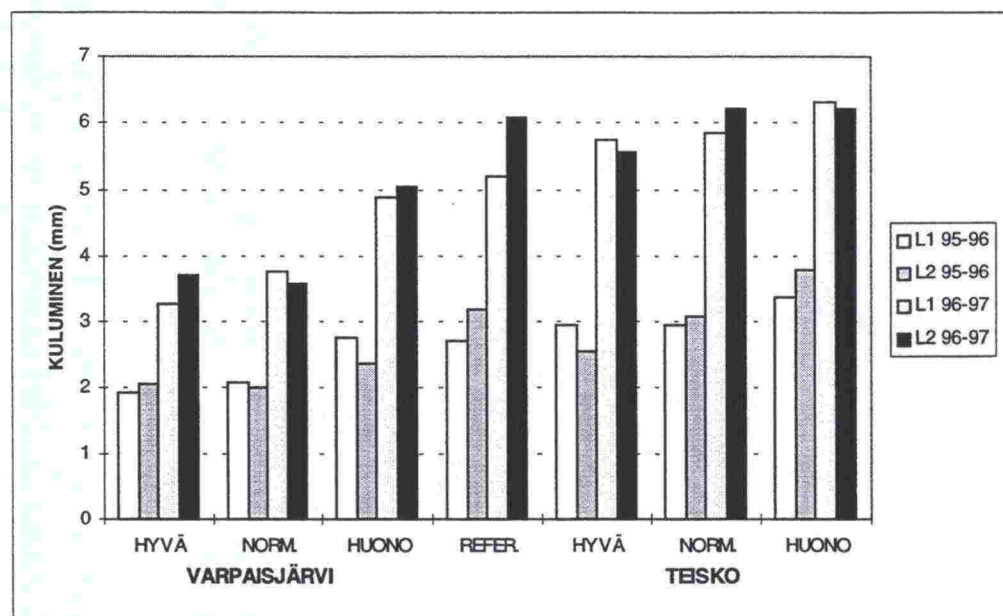
Kuvassa 3 esitetään Teiskon ja Varpaisjärven kiviainesten lajitteen 12,5 - 18 mm litteysluvun vaikutus massojen optimisideainepitoisuuteen. Kiviaineksen raemuodon vaikutus SMA 18-massan optimisideainepitoisuuteen oli huomattava. Teiskon kivellä muotoarvoltaan hyvän ja huonon kiviaineksen optimisideainepitoisuuksien ero oli 0,9 %-yksikköä ja Varpaisjärven kivellä 0,7 %-yksikköä. Tutkimuksen normaalimuotoiseen kiviainekseen verrattuna muotoarvon parantamisella eli muotoarvoltaan hyvällä kiviaineksella saavutettiin molemmilla tutkituilla kivillä 0,4 %-yksikön vähennys sideainemäärässä.



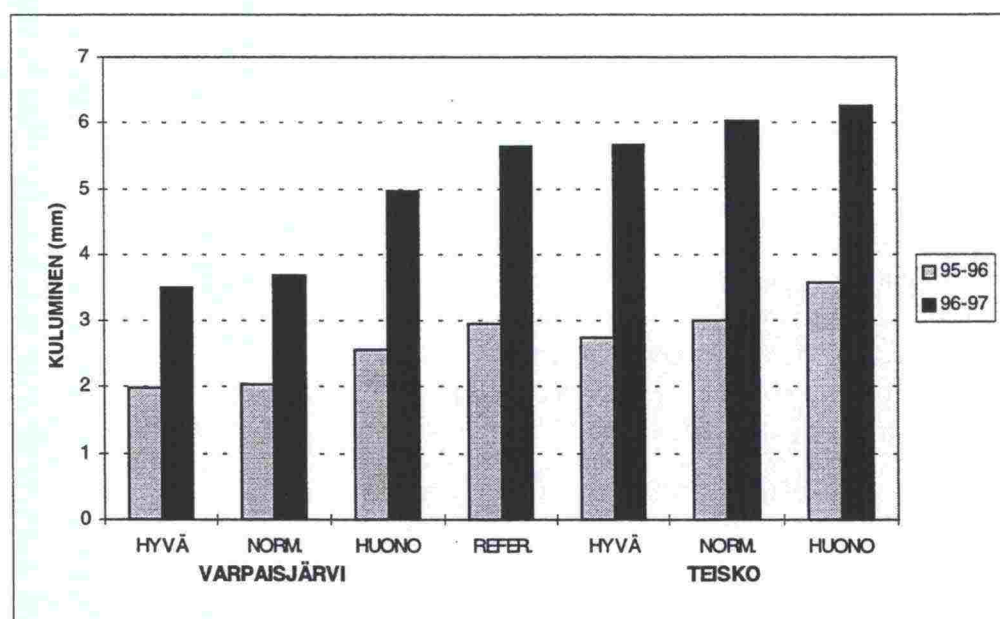
Kuva 3. Kiviaineksen lajitteen 12,5 - 18 mm litteysluvun vaikutus massojen optimisideainepitoisuuteen.

Minikoetietä laser-profilometrillä mitatut talven 1995 - 1996 laattakohtaiset kulumisarvot vaihtelivat välillä 1,94 - 3,79 mm (taulukko 3) ja talven 1996 - 1997 kulumisarvot välillä 3,26 - 6,33 mm (taulukko 4). Kuten kuva 4 osoittaa eri massojen rinnakkaislaattojen keskinäiset kulumaerot olivat melko pieniä.

Mikäli tuloksia tarkastellaan kahden rinnakkaislaatan arvojen keskiarvona, kulumisarvot ovat talven 1995 - 1996 osalta 2,00 - 3,58 mm ja talven 1996 - 1997 osalta 3,49 - 6,27 mm. Kuten kuvasta 5 havaitaan toisen talven kulumisarvot olivat selvästi suurempia kuin ensimmäisen talven arvot. Varpaisjärven kivellä edellä mainittu ero oli kiviaineksen muotoluokasta riippuen 74,5 - 93,0 %. Varpaisjärven kivellä toisen talven kulumisarvot olivat puolestaan hyvällä ja normaalilla kiviaineksella kaksinkertaiset ensimmäisen talven arvoihin verrattuna. Muotoarvoltaan huonolla kiviaineksella mainittu ero jäi 75,1 %:iin.

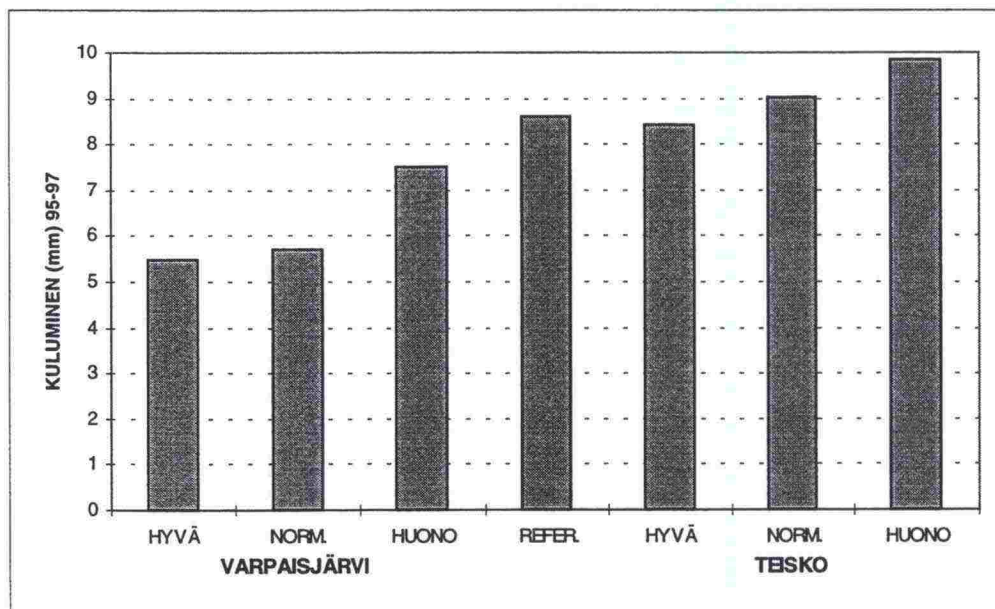


Kuva 4. Minikoetien eri massojen rinnakkaislaattojen (L1 ja L2) kuluminen talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 aikana.



Kuva 5. Minikoetien päällystelaattojen kuluminen kivikohtaisesti talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 aikana.

Kuvassa 6 esitetään päällystelaattojen kahden talven yhteenlasketut kulumisarvot massatyypeittäin. Tulosten mukaan lujuusarvoiltaan paremmalla kiviaineksella eli Varpaisjärven kivellä tehdyt SMA 18-päällystelaatat kuluvat odotetusti vähemmän kuin Teiskon kivistä tehdyt laatat.



Kuva 6. Minikoetien päällystelaattojen kuluminen kiviakohtaisesti talvien 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 aikana (yhteenlaskettu kuluminen).

Molemmilla kiviaineksilla vähiten ovat kuluneet ne laatat, joissa kiviaineksen muotoarvo on hyvä ja eniten ne laatat, joissa muotoarvo on huono. Selvemmin muotoarvon vaikutus päällysteen kulumiseen koko muotoarvoskaalalla näkyi lujuusominaisuuksiltaan heikommalla Teiskon kiviaineksella. Varpaisjärven kivellä muotoarvon vaikutus kulumiseen näkyi hyvin selvästi verrattaessa huonoa ja normaalia kiviainesta. Sen sijaan hyvän ja normaalin kiviaineksen välille ei saatu juurikaan kulumiseroa.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, etteivät Teiskon ja Varpaisjärven kivien muotoarvot (litteysluku) normaaleilla ja huonomuotoisilla kiviaineksilla aivan vastaa toisiaan. Lisäksi on huomioitava, että normaalimuotoinen kiviaines koostuu sekä hyvä- että huonomuotoisista rakeista, kun taas hyvä- ja huonomuotoiset kiviainekset sisältävät vain kyseisen muotoluokan rakeita.

Tarkasteltaessa molempien talvien yhteenlaskettuja kulumiseroja prosentuaalisina arvoina voidaan todeta, että Teiskon kivellä hyvämuotoisen kiviaineksen kuluminen oli 7,0 % vähäisempää ja huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen 9,0 % suurempaa kuin normaalimuotoisella kiviaineksella. Yhden talven kulumisarvoja tarkastellessa edellä mainitut luvut ovat ensimmäisen talven osalta 8,6 % ja 18,9 % sekä toisen talven osalta 6,1 % ja 4,0 %. Huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen oli normaalimuotoiseen kiviainekseen verrattuna ensimmäisenä talvena selvästi suurempaa kuin toisena talvena.

Varpaisjärven kivellä hyvämuotoisen kiviaineksen kuluminen oli 4,0 % vähäisempää ja huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen 31,6 % suurempaa kuin normaalimuotoisella kiviaineksella. Yhden talven kulumisarvoja tarkastellessa luvut ovat vastaavasti talven 1995 - 1996 osalta 2,4 % ja 25,4 % sekä talven 1996 - 1997 osalta 4,9 % ja 35,1 %. Teiskon kivistä poiketen

huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen oli normaalimuotoiseen kiviainekseen verrattuna toisena talvena suurempaa kuin ensimmäisenä talvena.

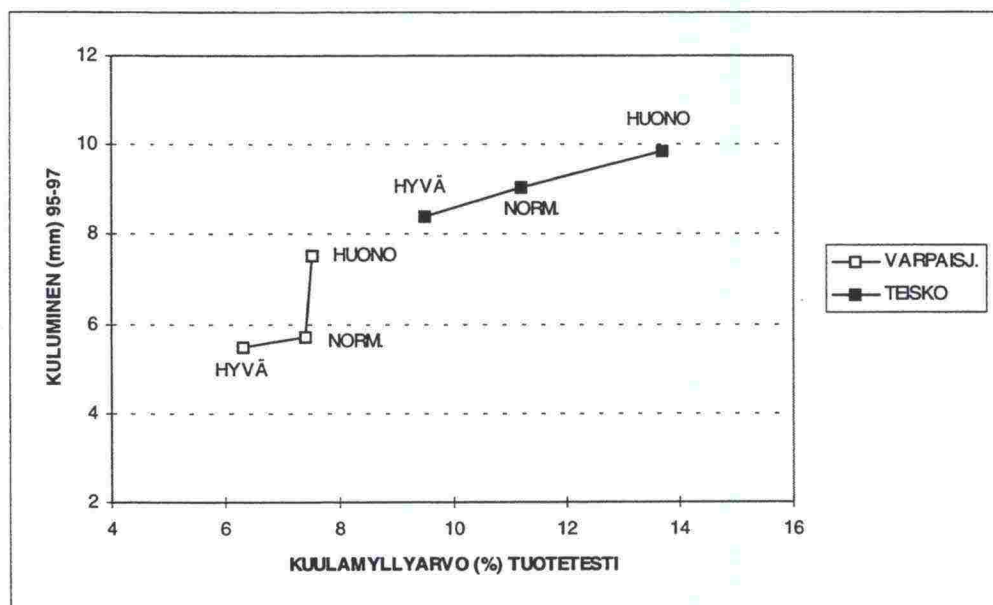
Huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen oli Teiskon kivellä 17,1 % ja Varpaisjärven kivellä 37,2 % suurempaa kuin saman kiven hyvämuotoisella kiviaineksella. Ensimmäisen talven kuluma-arvojen osalta edellä mainitut luvut olivat Teiskon kivellä 28,5 % ja Varpaisjärven kivellä 30,2 %. Toisen talven osalta luvut olivat vastaavasti Teiskon kivellä 10,8 % ja Varpaisjärven kivellä 37,2 %. Huonomuotoisen ja hyvämuotoisen kiviaineksen keskinäinen kulumisero on siis ollut prosentuaalisina arvoina ilmoitettuna suurimmillaan Teiskon kivellä ensimmäisenä talvena ja Varpaisjärven kivellä toisena talvena.

Verrattaessa hyvämuotoisia kiviaineksia keskenään kului Teiskon kivi 53,2 % enemmän kuin Varpaisjärven kivi. Talven 1995 - 1996 osalta luku oli 37,5 % ja talven 1996 - 1997 osalta peräti 62,2 %. Normaalimuotoisella kiviaineksella edellä mainittu kahden talven yhteenlasketuista kulumisarvoista laskettu kulumisero oli vastaavasti 58,0 % ja huonomuotoisella kiviaineksella 30,8 %. Ensimmäisen talven osalta luvut olivat 46,8 % ja 39,3 % sekä toisen talven osalta 64,3 % ja 26,4 %. Kahden tutkitun kiven kulumisero on siis lisääntynyt toisena talvena hyvä- ja normaalimuotoisella kiviaineksella, mutta pienentynyt huonomuotoisella kiviaineksella.

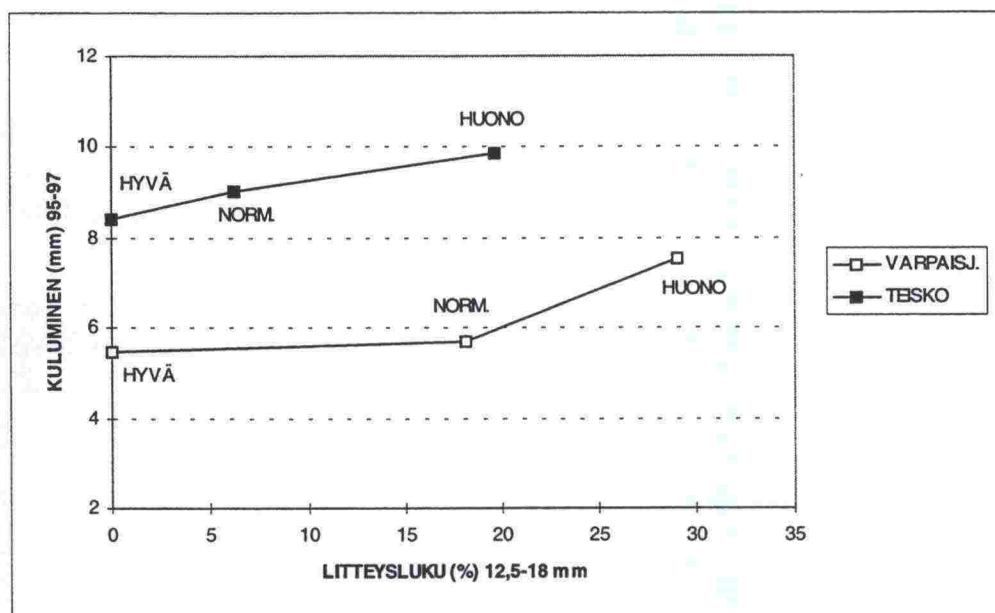
Teiskon ja Varpaisjärven kivillä sekä normaalimuotoisten että huonomuotoisten kiviainesten litteysluvut ja muotoarvot poikkeavat selvästi toisistaan. Tarkastelemalla esimerkiksi lajitteen 12,5 - 18 mm litteyslukuja havaitaan, että Teiskon huonomuotoinen kiviaines vastaa litteysluvultaan Varpaisjärven normaalimuotoista kiviainesta. Mikäli verrataan keskenään (esim. kuva 3) saman litteysluvun omaavia kiviaineksia, kului Teiskon kivi maksimissaan noin 65 % enemmän kuin Varpaisjärven kivi.

Kuvissa 7 - 11 tarkastellaan kuulamylyarvon ja litteysluvun / muotoarvon suhdetta päällystelaattojen kulumisarvoihin. Kuulamylykokeen tuloksista laskettaessa Teiskon kiviaines oli 50,8 - 82,7 % kulumiskestävyydeltään huonompi (suurempi kuulamylyarvo) kuin lujempi Varpaisjärven kiviaines vastaavilla muotoarvoilla. Molemmilla kivillä kuulamylyarvon kasvaessa myös päällystelaattojen kulumiset kasvoivat (kuva 7). Kuitenkaan kulumiskestävyyden ennustettavuus käyrästä ei ole suoraviivaista ja varsinkin lujemman kiviaineksen kohdalla ennustettavuus heikkenee.

Teiskon kivellä laattojen kulumisarvojen ja kuulamylyarvojen välinen riippuvuus oli selkeä. Varpaisjärven kivellä, jolla eri muotoarvoisten kiviainesten kuulamylyarvojen erot olivat pieniä, hyvämuotoisen ja normaalimuotoisen kiviaineksen kuulamylyarvon 1,2 %-yksikön muutos näkyi huonosti laatan kulumisessa, kun taas normaalimuotoisen ja huonomuotoisen kiviaineksen kuulamylyarvon vähäinen 0,1 %-yksikön muutos vaikutti selvästi minikoe-tien päällystelaatan kulumiseen.



Kuva 7. Minikoetien päällystelaattojen kulumisen (talvet 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteenlaskettuna) ja kiviainesten kuulamylllyarvojen (tuotetesti) riippuvuus Teiskon ja Varpaisjärven kiviaineksilla.

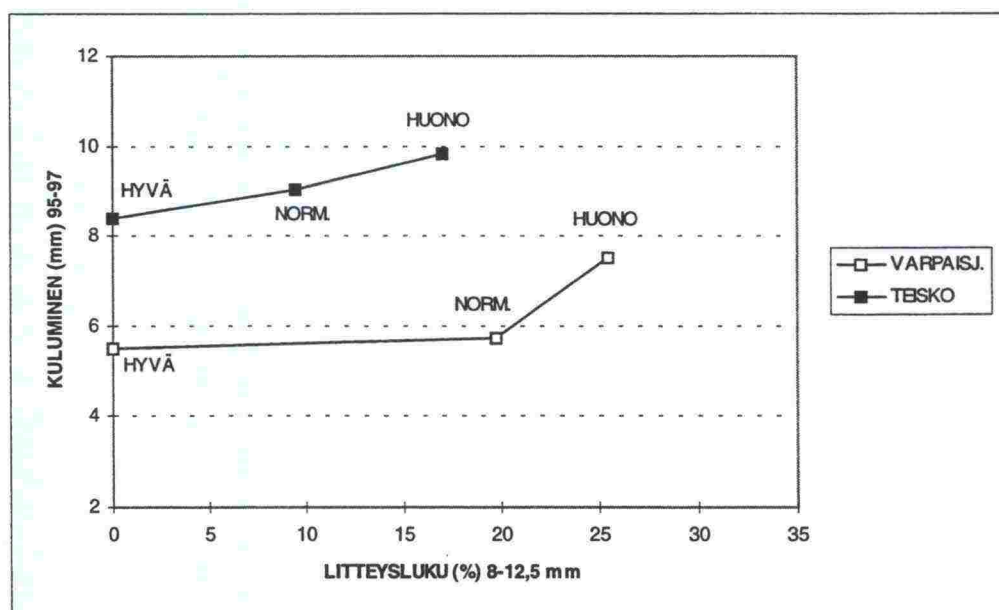


Kuva 8. Minikoetien päällystelaattojen kulumisen (talvet 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteensä) ja kiviainesten 12,5 - 18 mm lajitteen litteysluvun riippuvuus Teiskon ja Varpaisjärven kiviaineksilla.

Kuvien 8 ja 9 perusteella havaitaan, että Teiskon kiviaineksella litteysluvun vaikutus päällysteen kulumiseen oli selkeä. Kuvan 8 mukaisesti 5 %-yksikön huononeminen lajitteen 12,5 - 18 mm litteysluvussa lisää päällysteen kulumista noin 3 - 6 %.

Varpaisjärven kivellä litteysluvun vaikutus päällysteen kulumiseen oli hyvin vähäinen (kuvat 8 ja 9), kun tarkastellaan normaalimuotoisen ja hyvämuotoisen kiviaineksen eroja. Tämä saattaa viitata siihen, että lujuusominaisuuksiltaan hyvän kiviaineksen muodon parantamisella saavutetaan SMA 18-päällysteen kulumisen suhteen hyvin vähän etua. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava, että useat kulumiskestävyydeltään hyvät kivet ovat rakenteellisesti suuntautuneita tuottaen murskausprosessissa hyvin huonomuotoisia kivirakeita. Varpaisjärven kivi on näistä kivistä poiketen hyvin massamainen tuottaen parempimuotoista mursketta.

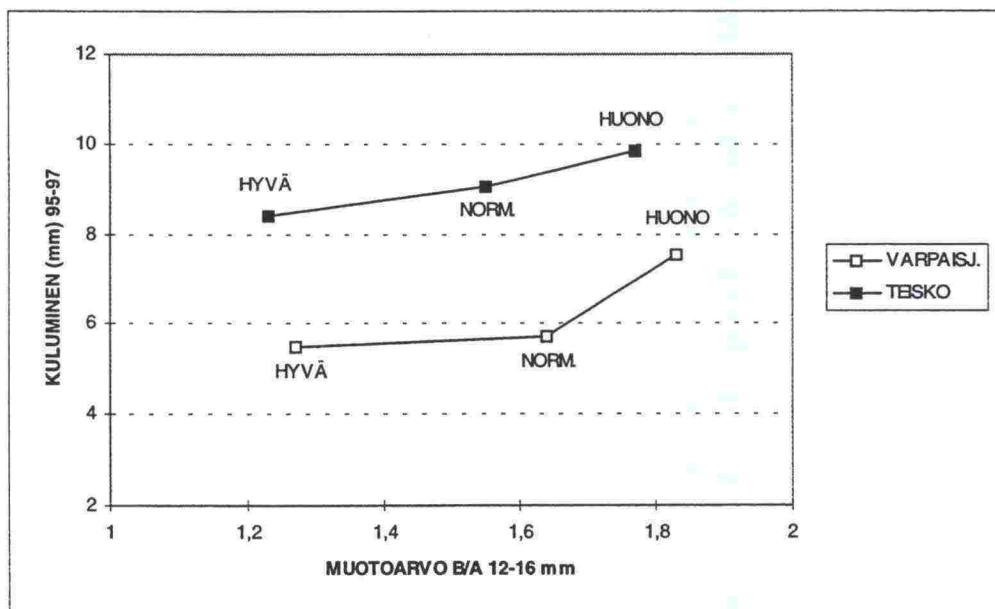
Sen sijaan Varpaisjärven kiven muotoarvon huonontumisella normaalitapaukseen verrattuna oli selvä vaikutus kulumiseen. Kuvan 8 mukaisesti 5 %-yksikön lisäys lajitteen 12,5 - 18 mm litteysluvussa lisää tässä tapauksessa päällysteen kulumista noin 15 %. Tämä viittaakin siihen, että tämänkaltaisen kiviaineksen murskauksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, ettei sen muotoarvo muodostu liian huonoksi. Tulokset ovat samankaltaisia myös tarkasteltaessa lajitteen 8 - 12,5 mm litteysluvun ja päällystelaattojen kulumisen riippuvuutta (kuva 9).



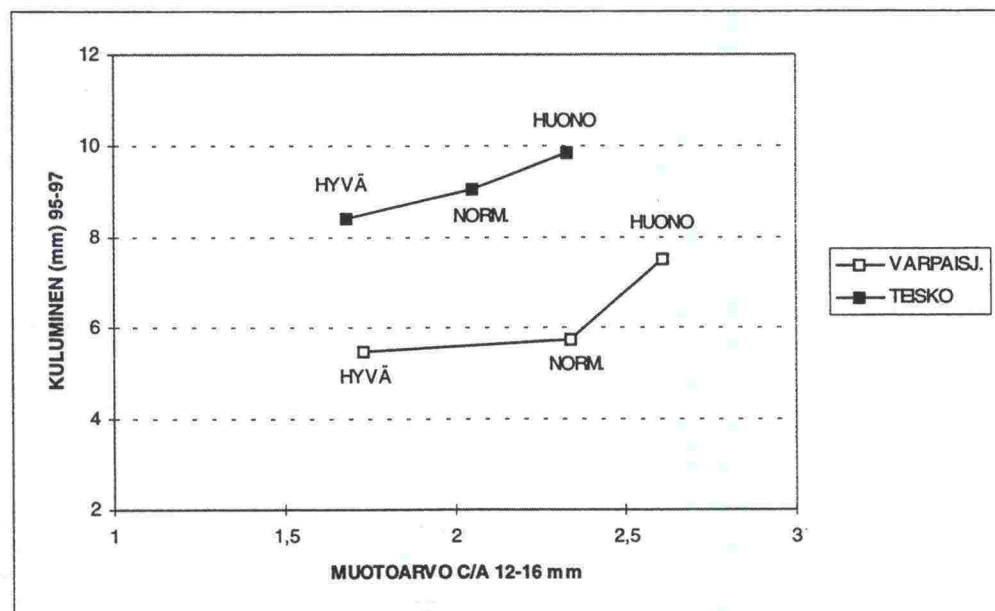
Kuva 9. Minikoetien päällystelaattojen kulumisen (talvet 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteensä) ja kiviainesten 8 - 12,5 mm lajitteen litteysluvun riippuvuus Teiskon ja Varpaisjärven kiviaineksilla.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty TIE-menetelmien mukaisten muotoarvojen ja päällystelaattojen kulumisen välinen riippuvuus. Kuvissa esitetyt suorat ovat luonnollisesti hyvin samanlaisia kuin kuvissa 8 ja 9 esitetyt suorat. Kuvan 10 mukaisesti 0,2 %-yksikön lisäys lajitteen 12 - 16 mm liuskeisuudessa (b/a) lisää Teiskon kivellä päällysteen kulumista noin 5 - 7 %. Kuvan 11 mukaisesti vastaava 0,2 %-yksikön lisäys lajitteen 12 - 16 mm puikkoisuudessa (c/a) lisää puolestaan kulumista noin 4 - 6 %. Varpaisjärven kivellä vain

muotoarvon huonontumisella normaalitapaukseen verrattuna oli selvä vaikutus kulumiseen. Tällöin 0,2 %-yksikön lisäys liuskeisuudessa lisää päällysteen kulumista yli 30 % ja vastaava lisäys puikkoisuudessa yli 20 %.



Kuva 10. Minikoetien päällystelaattojen kulumisen (talvet 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteensä) ja kiviainesten 12 - 16 mm lajitteen liuskeisuuden b/a riippuvuus Teiskon ja Varpaisjärven kiviaineksilla.



Kuva 11. Minikoetien päällystelaattojen kulumisen (talvet 1995 - 1996 ja 1996 - 1997 yhteensä) ja kiviainesten 12 - 16 mm lajitteen puikkoisuuden c/a riippuvuus Teiskon ja Varpaisjärven kiviaineksilla.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Minikoetiemenetelmä osoittautui toimivaksi koemenetelmäksi. Jo yhden talven jälkeen saatiin selviä eroja. Toisaalta tulokset osoittivat, että eri päällystemassojen tarkkojen suhteellisten kulumiserojen selvittämiseksi tarvitaan vähintään kahden talven minikoetiemittaukset. Menetelmän etuja ovat pienet materiaalmäärät, koelaattojen tarkka valmistaminen ja mittaus, mikä tekee mahdolliseksi pientenkin massamuuttujien vaikutusten selvittämisen. Saman massatyyppin rinnakkaislaattojen vähäiset keskinäiset kulumiserot osoittivat menetelmän luotettavuuden.

Toisen talven (1996 - 1997) päällystelaattojen kulumisarvot olivat 75 - 105 % suurempia kuin ensimmäisen talven (1995 - 1996) kulumisarvot. Tähän on löydettävissä kaksi eri syytä. Ensinnäkin toisen talven märän ajan osuus oli suurempi vähäisestä pakkasmäärästä johtuen. Toiseksi kyseisen talven minikoetiemittauksen välinen aika oli lähes 2 kuukautta pidempi kuin edellisenä talvena. Tämä johtui ensimmäisen talven syksyn mittauksen myöhäistämisestä päällysteen mastiksin kuluttamiseksi ja toisen talven kevään mittauksen myöhäistämisestä pidentyneen nastarengaskauden vuoksi.

Mittautulosten perusteella kivirakeiden muoto vaikutti odotetusti päällystelaattojen kulumiseen. Kulumisarvojen perusteella molemmilla kiviaineksilla vähiten kuluivat ne laatat, joissa kiviaineksen muoto on hyvä ja eniten ne laatat, joissa muoto on huono. Huonomuotoisen kiviaineksen kuluminen oli Teiskon kivellä noin 17 % ja Varpaisjärven kivellä noin 37 % suurempaa kuin saman kiven hyvämuotoisella kiviaineksella. Lujemmalla Varpaisjärven kivellä litteysluvun vaikutus kulumiseen näkyi selvästi vain verrattaessa keskenään huonomuotoista ja normaalimuotoista kiviainesta.

Tulosten perusteella lujuudeltaan heikompien kivien normaalimurskauksessa syntyvien murskeiden muotoarvon parantamisella saavutetaan kulumiskestävyyden kannalta etua. Sen sijaan lujuusominaisuuksiltaan hyvän kiviaineksen muodon parantamisella saavutetaan SMA 18-päällysteen kulumisen suhteen todennäköisesti hyvin vähän etua. Pitää kuitenkin muistaa, että edellä mainitut seikat koskevat vain päällysteen kulumisominaisuuksia. Kiviaineksen hyvin huono muotoarvo saattaa vaikuttaa negatiivisesti esimerkiksi päällysteen tiivistymisominaisuuksiin.

On myös huomioitava, että useat kulumiskestävyydeltään hyvät kivet ovat rakenteellisesti suuntautuneita tuottaen murskausprosessissa hyvin huonomuotoisia kivirakeita. Varpaisjärven kivi on näistä kivistä poiketen hyvin massamainen tuottaen parempimuotoista mursketta. Jatkokokokeisiin tulisiikin valita luja ja suuntautunut kiviaines.

Molemmilla tutkituilla kivillä kuulamylyarvon (tuotetesti) kasvaessa myös päällystelaattojen kulumiset kasvoivat, joskin kulumisen muutoksen suuruus ei ollut täysin tyydyttävästi ennustettavissa kuulamylytestillä. Mitatut kulumisarvot olivat varsinkin Varpaisjärven huonomuotoisella kiviaineksella selvästi suurempia kuin kuulamylyarvot antoivat olettaa.

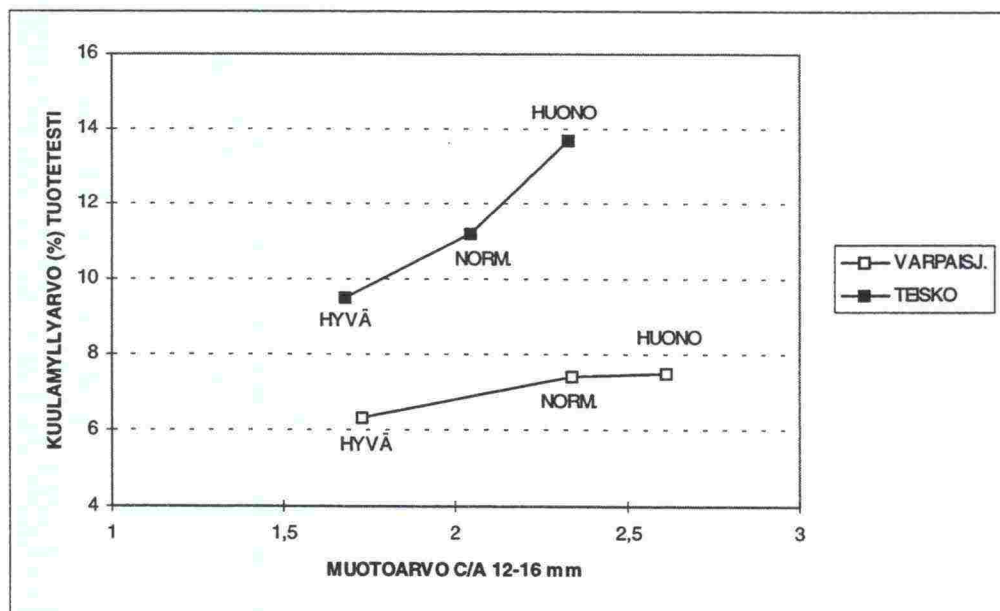
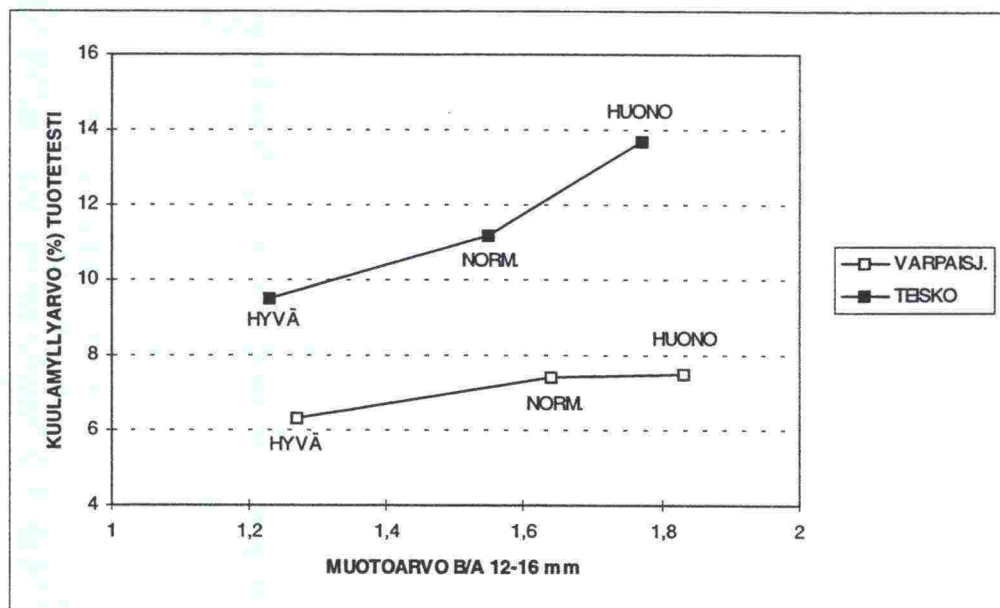
Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällystemassan optimisideainepitoisuuteen oli huomattava ja lisäksi kiviainekohtainen. Optimisideainepitoisuuksissa hyvä- ja huonomuotoisten kiviainesten välillä eroa oli Teiskon kivellä 0,9 %-yksikköä ja Varpaisjärven kivellä 0,7 %-yksikköä.

Kiviaineksen raemuoto vaikuttaa päällysteen kustannuksiin sideainepitoisuuden kautta ja toisaalta hyvämuotoisen kiviaineksen tuottaminen vaatii yleensä lisäkustannuksia. Tämän vuoksi päällysteen kiviaineksen valinnassa tulee lujuuden lisäksi ottaa huomioon kiviaineksen raemuoto.

Tutkimuksessa oli vain kaksi kiviainesta, jotka käyttäytyivät kulumisen suhteen toisistaan poikkeavasti. Tuloksista ei voi vetää kovin yleistäviä johtopäätöksiä, koska kivet käyttäytyivät yksilöllisesti murskauksessa ja päällysteessä. Jatkoselvityksiin tulisi valita lujuudeltaan ja rakenteeltaan sekä mineraalikoostumukseltaan erilaisia kiviaineita.

KIRJALLISUUS

- /1/ Katupäällystetutkimukset 1995 - 1996 - Koekohteet, ennakkotutkimukset ja seuranta. Katurakenteet ja -päällysteet-tutkimusohjelma. VTT Yhdyskuntatekniikka & Suomen kuntaliitto. Espoo 1996.
- /2/ Alkio, Risto; Vuorinen, Jarmo; Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulumiskestävyyteen - Minikoetien ensimmäisen talven tulokset. Helsinki 1996. Tielaitos, kehittämiskeskus, Tielaitoksen selvityksiä 57/1996, 26 s., + liitt. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-273-6, TIEL 3200425.



TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 13/1997 Tieliikenneolojen kokeminen Suomessa. Henkilö- ja kuorma-autoilijoiden mielipiteet tienpidon kehittämistarpeista. TIEL 3200460
- 14/1997 Vuoropuheluopas. TIEL 3200461
- 15/1997 Erikoiskovabitumistabilointikokeilut. TIEL 3200462
- 16/1997 Tiekokemus, tierakenteet ja taide. TIEL 3200463
- 17/1997 Autoilukokemus; Mekanisoitu liike ja virtualisoituva maisema. TIEL 3200464
- 18/1997 Syvästabiloinnin mitoitusohje. TIEL 3200465
- 19/1997 PAB-V-päällystetutkimukset 1996. TIEL 3200466
- 20/1997 Liikenne ja maankäyttö. TIEL 3200467
- 21/1997 Tiensuunnittelun ja rakennussuunnittelun kehittäminen. Kehittämistarpeita koskeva selvitys. TIEL 3200468
- 22/1997 Muuttuvien keliopasteiden vaikutukset kuljettajan toimintaan. TIEL 3200469
- 23/1997 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200470
- 24/1997 Haja-asutusalueiden vetovoimatekijät ja asukkaiden liikkumiskäyttäytyminen TIEL 3200471
- 25/1997 Ajokäyttäytyminen leveäkaistaisella moottoriliikennetiellä vt 12 Lahti - Uusikylä. TIEL 3200472
- 26/1997 Tavallisen ja leveäkaistaisen moottoriliikennetien liikennevirran ominaisuudet; Vt 12 Lahti-Uusikylä. TIEL 3200473
- 27/1997 Selvitys lin osayleiskaavoituksen ja vt 4:n yleissuunnittelun yhteensovittamisesta. TIEL 3200474
- 28/1997 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tien kevennysrakenteet. TIEL 3200475
- 29/1997 Tielaitoksen ympäristöraportti 1996. TIEL 3200411-97
- 30/1997 Teiden pohjavesisuojausissa käytettävien maatiivisteiden vedenläpäisevyyden määrittäminen. TIEL 3200476
- 31/1997 Saksa ja Hollanti: toimivat liikenteen välttämisen strategiat. TIEL 3200477
- 32/1997 Simulointi liikenteen telematiikan vaikutusten tutkimusvälineenä. TIEL 3200478
- 33/1997 Pyöräilyn ja joukkoliikenteen yhdistäminen. Keskieuropalaisten ratkaisujen soveltaminen Suomeen. TIEL 3200479
- 34/1997 Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen. Minikoetien talvien 1995-1996 ja 1996-1997 tulokset. TIEL 3200480
- 35/1997 Palaturpeen käyttö tierakenteessa. TIEL 3200481
- 36/1997 Kotka-Hamina sääohjatun tien yhteiskuntataloudellisuus. TIEL 3200482